

ВЛИЯНИЕ ЗАМЕЩЕНИЯ ЖЕЛЕЗА ПАЛЛАДИЕМ НА ФАЗОВЫЙ СОСТАВ И СВЕРХПРОВОДЯЩИЕ СВОЙСТВА $\text{Fe}_{1.02}\text{Se}_{0.5}\text{Te}_{0.5}$

Кислов Е.В.¹, Абухасва А.С.А.¹, Селезнева Н.В.¹, Баранов Н.В.^{1,2}

¹Уральский федеральный университет им. Б.Н. Ельцина, ИЕНиМ, г. Екатеринбург,

²Институт физики металлов УрО РАН, г. Екатеринбург, eu.kislov@gmail.com

В 1986 году был открыт класс купратных высокотемпературных сверхпроводников [Bednorz, 1986]. Позднее, в 2008 году, был открыт второй класс – сверхпроводники на основе железа [Kamihara, 2008]. Критическая температура сверхпроводников на основе железа может достигать ~ 55 K [Ren, 2008], что выходит за границу общепринятого предела Макмиллана обычных сверхпроводников. С момента открытия купратных сверхпроводников понимание механизма высокотемпературной сверхпроводимости остается важной и сложной задачей, стоящей перед сообществом ученых, изучающих свойства конденсированных сред. Открытие сверхпроводников на основе железа дает возможность сравнивать их с купратными сверхпроводниками, что может помочь объяснить механизмы высокотемпературной сверхпроводимости.

Простейшей структурой среди всех железосодержащих сверхпроводников обладает соединение FeSe. Температура сверхпроводящего перехода объемного FeSe составляет 8 K [Hsu, 2008], однако при пятидесятипроцентном замещении селена теллуrom $\text{FeSe}_{1-x}\text{Te}_x$ ($x = 0.5$) критическая температура увеличивается до 15 K [Mizuguchi, 2009]. Конечный состав FeTe ($x = 1$) не является сверхпроводником и имеет антиферромагнитное упорядочение при низких температурах. Кроме того, T_c увеличивается до 37 K для соединения FeSe и до 26 K для соединения $\text{FeSe}_{0.5}\text{Te}_{0.5}$ при приложении внешнего давления в 9 и 2 ГПа соответственно. Замещение серы в FeSe до 20% незначительно увеличивает критическую температуру T_c (~ 10 K) [Ren, 2008], а его замещение в соединении FeTe приводит к появлению перехода в сверхпроводящее состояние с критической температурой T_c ~ 8 K и подавлению спинового упорядочения [Tomioka, 2009].

Целью данного исследования является изучение влияния замещения железа палладием в соединении $\text{Fe}_{1.02}\text{Se}_{0.5}\text{Te}_{0.5}$; данный состав был выбран в связи с тем, что в ряду Fe(Se,Te) имеет наивысшее значение критической температуры (T_c ~ 14.5 K). Причинами, по которым был выбран палладий, являются, во-первых, ферромагнитная неустойчивость, которая присутствует даже несмотря на то, что соединение

является парамагнитным по объему [Shinohara, 2003], и во-вторых – тот факт, что PdTe является сверхпроводником с критической температурой T_c ~ 4.5 K [Matthias, 1953].

Поликристаллические образцы системы $\text{Fe}_{1.02-x}\text{Pd}_x\text{Te}_{0.5}\text{Se}_{0.5}$ ($x = 0, 0.02, 0.05, 0.1, 0.15$) были получены методом твердофазного синтеза в вакуумированных кварцевых ампулах. Ампулы с чистыми элементами постепенно нагревали в печи от комнатной температуры до 700 °C (с однодневными температурными выдержками при 200 и 500 °C), затем образцы отжигали в течение 48 часов при температуре 700 °C с последующим медленным охлаждением до комнатной температуры. Для достижения гомогенности образцы отжигали дважды. В первый раз полученные образцы измельчали, прессовали в таблетки, повторно герметизировали в вакуумированных кварцевых трубах и отжигали при 500 °C в течение 10 часов, затем при 700 °C в течение 120 часов. Во второй раз образцы измельчали, прессовали в таблетки, запечатывали в вакуумированных кварцевых трубах и отжигали при 700 °C в течение 120 часов. Фазовый состав и структуру полученных образцов исследовали при комнатной температуре с использованием дифрактометра Bruker D8 Advance (CuK α -излучение). Данные электросопротивления были получены стандартным четырехзондовым методом постоянного тока в диапазоне температур от 8 K до 300 K с использованием рефрижиратора замкнутого цикла. Температурную зависимость намагниченности измеряли с использованием СКВИД-магнитометра MPMS XL-7 EC в диапазоне температур 2 K - 300 K и магнитных полей 0 T - 7 T.

Соединение $\text{Fe}_{1.02}\text{Se}_{0.5}\text{Te}_{0.5}$ является практически однофазным: помимо основной тетрагональной фазы (пространственная группа $P4/nmm$) присутствует небольшое количество гексагональной фазы (пространственная группа $P6_3/mmc$). В процессе выполнения работы было установлено, что частичное замещение железа палладием в образцах $\text{Fe}_{1.02-x}\text{Pd}_x\text{Se}_{0.5}\text{Te}_{0.5}$ приводит к появлению наряду с основной сверхпроводящей фазой на основе FeTe (структура типа PbO, пространственная группа $P4/nmm$) второй несверхпроводящей фазы на основе FeSe, также обладающей

тетрагональной структурой ($P4/nmm$). Появление в образцах $\text{Fe}_{1.02-x}\text{Pd}_x\text{Se}_{0.5}\text{Te}_{0.5}$ второй тетрагональной фазы на основе FeSe и увеличение ее объемной доли при замещении связано с ограниченной растворимостью палладия в основной тетрагональной фазе. Установлено, что рост содержания Pd сопровождается увеличением параметров элементарной ячейки основной сверхпроводящей фазы на основе FeTe, в то время, как параметры элементарной ячейки несверхпроводящей тетрагональной фазы уменьшаются. Такие изменения структуры сосуществующих фаз могут быть обусловлены тем, что при замещении в них происходит изменение соотношения концентрации селена и теллура: сверхпроводящая фаза при увеличении концентрации палладия обогащается теллуrom и обедняется селеном, а во второй фазе имеют место противоположные изменения. Увеличение содержания селена в несверхпроводящей фазе подтверждается близостью параметров ее элементарной ячейки к значениям параметров тетрагональной фазы FeSe. Как и при замещении атомов железа другими 3d-элементами, увеличение концентрации палладия в образцах $\text{Fe}_{1.02-x}\text{Pd}_x\text{Se}_{0.5}\text{Te}_{0.5}$ приводит к уменьшению значения критической температуры перехода в сверхпроводящее состояние. Основным фактором, ответственным за уменьшение T_c по-видимому, является увеличение межслоевого расстояния в сверхпроводящей тетрагональной фазе при увеличении концентрации палладия в образцах.

Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства образования и науки Российской Федерации (проект № 3.2916.2017/4.6) и гранта РФФИ (проект 16-02-00480).

ЛИТЕРАТУРА

1. Bednorz J.G., Müller K.A. Possible high T_c superconductivity in the Ba–La–Cu–O system// Zeitschrift für Physik B Cond. Mat. 1986. Vol.64. P.189.
2. Hsu F. C., Luo J. Y., Yeh K. W., Chen T. K., Huang T. W., Wu P. M., Lee Y. C., Huang Y. L., Chu Y. Y., Yan D. C., Wu M. K. Superconductivity in the PbO-type structure α -FeSe// Proc. Natl. Acad. Sci. USA. 2008. Vol.105. P.14262.
3. Kamihara Y., Watanabe T., Hirano M., Hosono H. Iron-Based Layered Superconductor $\text{La}[\text{O}_{1-x}\text{F}_x]\text{FeAs}$ ($x = 0.05 - 0.12$ with $T_c = 26$ K)// J. Am. Chem. Soc. 2008. Vol.130. P.3296.
4. Matthias B. T., Superconducting compounds of non-superconducting elements// Phys. Rev. 1953. Vol.90. P.487.
5. Mizuguchi Y., Tomioka F., Tsuda S., Yamaguchi T., Takano Y. Substitution Effects on FeSe Superconductor// J. Phys. Soc. Jpn. 2009. Vol.78. P.074712.
6. Ren Z. A., Lu W., Yang J., Yi W., Shen X. L., Che G. C., Dong X. L., Sun L. L., Zhou F., Zhao Z. X. Superconductivity at 55 K in Iron-Based F-Doped Layered Quaternary Compound $\text{Sm}[\text{O}_{1-x}\text{F}_x]\text{FeAs}$ // Chin. Phys. Lett. 2008. Vol.25. P.2215.
7. Shinohara T., Sato T., Taniyama T. Surface ferromagnetism of Pd fine particles// Phys. Rev. Lett. 2003. Vol.91. P.197201.
8. Tomioka F., Mizuguchi Y., Tsuda S., Yamaguchi T., Takano Y. Superconductivity in S-substituted FeTe// Appl. Phys. Lett. 2009. Vol.94. P.012503.